采用英系北京鸭评定棉籽粕净能的研究

孟红梅[1] 贾 刚[1*] 文 敏[1,2] 赵 华[1] 陈小玲[1] 刘光芒[1] 王康宁[1]

（1．四川农业大学动物营养研究所，雅安 625014；2．西藏职业技术学院，拉萨 850000）

摘 要：本研究旨在评定棉籽粕在英系北京鸭上的净能（NE），并运用棉籽粕的表观代谢能(AME)和常规成分建立其预测方程。根据析因法将棉籽粕替代饲粮的 NE 剖分为维持净能(NEm)和沉积净能(NEp)，利用回归法测定 NEm，比较屠宰法测定 NEp，再套算得到棉籽粕的 NE。选取 400 只 7 日龄的英系北京鸭进行动物试验。首先选取 20 只肉鸭在试验开始时挫颈致死，测定其体能量作为测定维持净能（net energy for maintance，NEm）和沉积净能（net energy for production，NEp）的共同初始能量对照；再选取 50 只肉鸭用于 NEm 的测定，NEm 用禁食产热（FHP）估计，共设 5 个组（每组 5 个重复，每个重复 2 只），分别为自由采食组及限饲 15%、25%、35%、45%组，均饲喂基础饲粮 1；剩余的 330 只肉鸭用于 NEp 的测定，共设 33 个组（每组 5 个重复，每个重复 2 只），分别饲喂基础饲粮 2 和以不同棉籽粕替代 15%基础饲粮 2 的试验饲粮。于 14 日龄时将所有的试验鸭挫颈致死，测定所有试验肉鸭的体能量。最后，将实测棉籽粕 NE 与 AME 和其常规成分进行相关分析和多元逐步线性回归分析建立棉籽粕 NE 的预测方程。结果显示：英系北京鸭的 FHP 为 580.7 kJ/(kg $W^{0.75}$ •d)，棉籽粕替代饲粮提供给肉鸭的 NEm 和 NEp 分别为（2.97±0.15）MJ/kg 和（5.22±0.12）MJ/kg，棉籽粕替代饲粮提供给肉鸭的 NE 为（8.19±0.09） MJ/kg，计算得到的棉籽粕的 NE 和 AME 分别为（6.12±0.62） MJ/kg 和（10.05±1.02） MJ/kg，AME 转化为 NE 的效率为（60.97±2.04）%，使用 AME 和常规成分建立棉籽粕 NE 的最佳预测方程为 NE=3.276+0.241AME+0.044CP-0.081ADF（R^2=0.954，RSD=0.13 MJ/kg，P<0.01），式中 CP 为粗蛋白质，ADF 为酸性洗涤纤维。由以上结果可知：英系北京鸭棉籽粕的 NE 为（6.12±0.62） MJ/kg，分布范围为 5.04~7.30 MJ/kg，变异较大；运用 AME 结合常规成分可以准确预测英系北京鸭棉籽粕的 NE。

关键词：棉籽粕；净能；肉鸭；常规成分；预测

中图分类号：S834 文献标识码：A 文章编号：

目前家禽能量代谢常采用代谢能（metabolizable energy，ME）体系，但其用于评价饲

收稿日期：2016-05-20

基金项目：四川省科技支撑计划（2013NZ0054）；四川农业大学双支计划

作者简介：孟红梅（1990—），女，四川内江人，硕士研究生，从事饲料资源开发与高效利用研究。E-mail： menghongmei201353@163.com

*通信作者：贾 刚，教授，博士生导师，E-mail: jiagang700510@163.com

料 ME 时，往往高估了蛋白质和纤维的有效能[1]。净能（net energy，NE）被定义为 ME 减去热增耗剩下的那部分能量，可以消除特异性的饲料成分带来的对饲料有效能值的影响，因此相比 ME 体系而言，NE 体系评定饲料有效能值更接近于真实能值。饲料 NE 的评定是目前饲料科学研究的前沿和热点之一，已有研究评定得出了棉籽粕在黄羽肉鸡和艾维茵肉鸡上的 NE[2-3]，研究同时发现 NE 与饲料的表观代谢能（apparent metabolizable energy，AME）和常规成分相关，例如 Noblet 等[1]利用 AME 和常规成分建立的 NE 预测方程被广泛用于生长猪饲料原料以及配合饲粮 NE 的快速评定[4-5]。而棉籽粕在肉鸭（其能量利用效率与肉鸡存在明显差异）上的 NE 评定还未见研究报道，同时其 NE 与常规成分的关系尚不明确。因此，本试验拟选择英系北京鸭（即樱桃谷鸭）为动物模型，测定不同来源棉籽粕的 AME、NE，并探讨 NE 与 AME、常规成分的相关、回归关系，从而为快速、准确地预测 NE 提供依据，并达到高效利用棉籽粕的目的。

1　材料与方法

1.1　棉籽粕的采集

本试验所用棉籽粕样品根据棉籽粕产区及饲料用棉籽粕标准进行收集，所用 32 种棉籽粕来自于新疆、山东、河南、河北、江苏、江西、宁夏等不同省份。分别参照 GB/T 6435-2014、GB/T 6432-1994、GB/T 6438-2007、GB/T 6433-2006、GB/T 6434-2006、NY/T 1459-2007、GB/T 20806-2006 的要求，测定各棉籽粕的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗灰分（Ash）、粗脂肪（EE）、粗纤维（CF）、酸性洗涤纤维（ADF）、中性洗涤纤维（NDF）的含量。

1.2　试验设计

试验所用英系北京鸭购买于四川农业大学动物遗传育种研究所。将同一批刚孵化的英系北京鸭立即转入代谢室，常规饲养管理。7日龄时，选取400只健康、空腹平均体重为（130.0±8.5）g的试鸭用于代谢试验，代谢试验共7 d。试验开始时，将20只肉鸭挫颈致死后储存于-20 ℃冰箱，测定其体能量作为测定维持净能（net energy for maintance，NEm）和沉积净能（net energy for production，NEp）的共同初始能量对照；另外50只用于NEm的测定，设自由采食组和限饲15%、25%、35%、45%组，每组5个重复，每个重复2只，均饲喂基础饲粮1；余下330只用于NEp的测定，共设33个组，分别饲喂基础饲粮2和以不同棉籽粕替代15%基础饲粮2的试验饲粮，每组5个重复，每个重复2只。在12.5日龄时所有试鸭禁食36 h后（14日龄时），以重复为单位称重，全部挫颈致死并储存于-20 ℃冰箱。

1.3　基础饲粮

参照 NY/T 2122-2012《肉鸭饲养标准》配制基础饲粮 1，用于测定肉鸭的 NEm。为使

棉籽粕替代后的饲粮蛋白质水平满足《肉鸭饲养标准》要求，用于测定 NEp 的基础饲粮 2 的蛋白质水平下调 4 个百分点。基础饲粮组成及营养水平见表 1，试验所用饲粮均制成颗粒料。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	基础饲粮 1 Basal diet 1	基础饲粮 2 Basal diet 2
原料 Ingredients		
玉米 Corn	61.4	73.02
豆粕（溶剂萃取） Soybean meal (solvent extracted)	30.8	22.48
棉籽粕（溶剂萃取） Cottonseed meal (solvent extracted)	3.0	
大豆油 Soybean oil	0.6	
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys・HCl	0.2	0.2
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.2	0.4
石粉 Limestone	1.1	1.1
二水合磷酸氢钙 $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	1.7	1.8
食盐 NaCl	0.3	0.3
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.2	0.2
预混料 Premix[1)]	0.5	0.5
合计 Total	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.15	12.19
粗蛋白质 CP	20.01	16.05
钙 Ca	0.91	0.90
总磷 TP	0.68	0.64
赖氨酸 Lys	1.18	0.93
蛋氨酸 Met	0.49	0.64
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.76	0.89
苏氨酸 Thr	0.74	0.60
色氨酸 Trp	0.23	0.17

[1)] 预混料给每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 4 000 IU，VB_1 2 mg，VB_2 10 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，VK 2 mg，叶酸 folic acid 1 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 20 mg，烟酸 nicotinic acid 50 mg，Cu (as copper sulfate) 4 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Mn (as manganese sulfate) 30 mg，Zn (as zinc sulfate) 35 mg，I (as potassium iodide) 0.4 mg，Se (as sodium selenite) 0.25 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4　饲养管理

试验在四川农业大学农场动物营养所水禽代谢室进行。试鸭采用网上平养的方式饲养，每天分别在 08:00 和 20:00 饲喂 1 次。第 1 周用保温灯确保圈舍内温度为（30±2）℃，正

式试验期间，圈舍温度维持在（28±2）℃。试验全期试鸭采取乳头式自由饮水，24 h 光照，圈舍相对湿度保持在 60%~65%。测定 NEm 的各组均饲喂基础饲粮 1，自由采食组的采食量以上 1 次的采食量为标准调整，确保料桶内有 10%的剩料，限饲 15%、25%、35%、45%组的采食量分别是自由采食组的 85%、75%、65%、55%。

1.5　测定指标

能量的表观代谢率的测定采用部分收粪法，以酸不溶灰分为指示剂。饲粮和排泄物中酸不溶灰分含量的测定参照 GB/T 23742-2009。每天收集 2 次排泄物，尽量收取干净没被污染的排泄物。新鲜排泄物称重后按 100 g 加入 10 mL 10%的盐酸以及 3～5 滴甲苯，混匀后放于-20 ℃冰箱保存。各样品的能量均采用 PARR-6400 型氧弹测热仪进行测定。

1.6　样品处理

排泄物的处理：按重复将试验全期收集的排泄物混合，于 65 ℃下烘干，然后在室温下回潮 24 h，粉碎后过 40 目筛，用于后期盐酸不溶灰分含量和能量的测定。

肉样的处理：从冰箱拿出称重后，先将肉鸭剁成小块，再用 TK-22 型绞肉机将其粉碎，肉样混合均匀后取样 200 g 于 55 ℃烘箱中烘干（96 h），烘干后的肉样在室温下回潮 24 h 后称重，用粉碎机粉碎以测定能量。

1.7　计算方法

NEm 的测定选用 Lofgreen 等[6]推荐的测定 NEm 的方程 lgHP=a+bMEI 进行回归求解，其中 a、b 为待解常数，HP 表示产热，MEI 表示食入代谢能。NEm 用禁食产热（fasting heat production，FHP）估计，将不同限饲组的 MEI 和 HP 进行对数回归求得 a、b 值，那么当 MEI 为 0 时，此时 HP 即为 FHP。NE_p 的测定用试验末能量减去试验初能量得到。

能量的表观代谢率（%）=100-100×（AIA_0×GE_i）/(AIA_1×GE_0)；

AME=GE_0×能量的表观代谢率；

MEI=AME×ADFI/$BW^{0.75}$；

HP=MEI-RE；

NE=NEm+NEg；

棉籽粕 NE=(NE_i-NE_0×0.85)/0.15。

式中：AIA_0 和 AIA_i 分别为饲粮和粪便中的酸不溶灰分含量；GE_0 和 GE_i 分别为饲料和粪便中的总能；$BW^{0.75}$ 为代谢体重；RE 为沉积能；NE_0 为基础饲粮 2 的 NE；NE_i 为棉籽粕替代 15%饲粮后的 NE。

1.8　数据统计分析

采用统计分析软件 SPSS 19.0 对测定 NEm 的各组的相关指标进行方差分析，差异显著时用 Dancun 氏法进行多重比较；将实测棉籽粕 NE 与相应棉籽粕的常规成分进行相关和多元逐步线性回归分析。试验数据以平均值±标准差表示。

2　结　果

2.1　棉籽粕的常规成分

试验用各棉籽粕的常规成分见表 2，其常规成分符合我国国家标准《饲料用棉籽粕》（GB/T 21264-2007）。

表 2　棉籽粕的常规成分(风干基础)

Table 2　Conventional composition of cottonseed meal (air-dry basis)　%

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	粗灰分 Ash	粗脂肪 EE	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	粗纤维 CF
范围 Range	88.72~91.4	37.16~50.16	5.41~7.88	0.30~1.75	15.22~32.95	11.80~25.19	10.37~19.31
平均值±标准差 Mean±SD	89.80±0.68	43.57±3.47	6.18±0.46	0.83±0.31	25.36±4.32	18.19±3.10	14.68±2.40
变异系数 CV	0.76	7.96	7.44	37.35	17.03	17.03	16.35

2.2　英系北京鸭 NEm 测定的相关结果

如表 3 所示，测定 NEm 的各组的 MEI、沉积能（RE）随限饲比例的增加而减少，各组间差异显著(P<0.05)。除限饲 25%和 35%组的 HP 差异不显著(P>0.05)外，其他组的 HP 随限饲比例的增加而显著减少（P<0.05）。

表 3　不同饲喂水平下 MEI、RE、HP（风干基础）

Table 3　The MEI, RE and HP in different feeding levels (air-dry basis)　MJ/（kg $W^{0.75}$ • d）

项目	组别 Groups				
Items	自由采食 *Ad libitum*	限饲 15% 15% restriction feed	限饲 25% 25% restriction feed	限饲 35% 35% restriction feed	限饲 45% 45% restriction feed
食入代谢能 MEI	2.39^{e}	2.15^{d}	1.96^{c}	1.80^{b}	1.66^{a}
沉积能 RE	0.96^{e}	0.90^{d}	0.79^{c}	0.67^{b}	0.57^{a}
产热 HP	1.43^{d}	1.24^{c}	1.16^{b}	1.13^{b}	1.09^{a}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同小写字母表示差异不显著（P>0.05）。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference

(P<0.05), while with the same small letter superscripts mean no significant difference (P>0.05).

以 MEI 为自变量，把 lgHP 作为因变量，建立它们之间的一元线性回归方程，得到 lgHP=0.158×MEI-0.236（R^2=0.944，RSD=0.000，P<0.01），当 MEI=0、lgHP=-0.236 时，计算得到 FHP=580.7 kJ/(kg $W^{0.75}$ • d)。

2.3　替代饲粮、棉籽粕的 NE 和棉籽粕 AME 转化为 NE 的效率

替代饲粮和棉籽粕的 NE 见表 4。基础饲粮 2 的 NE 为 8.55 MJ/kg，棉籽粕的 AME 和 NE 是用替代饲粮的相应值以棉籽粕占 15%、基础饲粮 2 占 85%，通过套算公式计算得到的。棉籽粕 AME 转化为 NE 的效率为（60.97 公式计算得）%。

表 4　替代饲粮、棉籽粕的 NE 以及棉籽粕 AME 转化为 NE 的效率（风干基础）

Table 4　NE of substitued diet and cottonseed meal and NE/AME of cottonseed meal (air-dry basis)

项目 Items	替代饲粮 Substitued diet			棉籽粕 Cottonseed meal		
	维持净能 NEm/(MJ/kg)	生产净能 NEp/(MJ/kg)	净能 NE/(MJ/kg)	表观代谢能 AME/(MJ/kg)	净能 NE/(MJ/kg)	表观代谢能转化为净能的效率能 The efficiency of AME translate to NE/%
范围 Range	2.81~3.15	4.94~5.39	8.02~8.36	8.00~12.22	5.04~7.30	58.11~64.62
平均值±标准差 Mean±SD	2.97±0.10	5.22±0.12	8.19±0.09	10.05±1.02	6.12±0.62	60.97±2.04
变异系数 CV/%	3.37	2.30	1.10	10.15	10.13	3.35

2.4　棉籽粕AME和常规成分与NE的相关关系及预测方程

AME和常规成分与NE进行相关分析的结果见表5。NE与AME的相关性最大，其次是ADF，同时与CP、CF、NDF均极显著相关(P<0.01)，而与EE和Ash没有显著相关性（P>0.05）。通过AME和常规成分建立的NE有效预测方程见表6。将AME和常规成分与NE进行多元逐步线性回归分析，AME、ADF、CP被筛选作为NE预测因子，参与预测模型的构建。棉籽粕的常规成分中，利用ADF所建立的回归模型决定系数（coefficient of determination，R^2）最大，同时残余标准差（relative standard deviation，RSD）最小。AME作为单一预测因子建立NE预测模型的R^2为0.892。当AME结合常规成分共同作为棉籽粕NE预测变量时，模型的R^2明显增大，RSD减小。

表5　棉籽粕的NE与AME和常规成分的相关系数

Table 5　The correlation coefficients between NE with AME and conventional composition of cottonseed meal

项目 Item	净能 NE	表观代谢能 AME	粗蛋白质 CP	粗灰分 Ash	粗脂肪 EE	粗纤维 CF	酸性洗涤纤维 ADF	中性洗涤纤维 NDF
净能 NE	1	0.945**	0.842**	0.151	0.197	-0.862**	-0.916**	-0.884**
表观代谢能 AME		1	0.808**	0.122	0.109	-0.793**	-0.859**	-0.822**
粗蛋白质 CP			1	0.222	0.209	-0.596**	-0.684**	-0.648**
粗灰分 Ash				1	0.271	-0.054	-0.056	-0.143
粗脂肪 EE					1	-0.299	-0.239	-0.299
粗纤维 CF						1	0.957**	0.954**
酸性洗涤纤维 ADF							1	0.979**
中性洗涤纤维 NDF								1

**表示极显著相关。

** mean extremely significant correlation.

表 6 棉籽粕的 NE 与 AME 和常规成分的预测方程

Table 6 The prediction models of NE for cottonseed meal based on AME and conventional composition

序号 No.	预测模型 Prediction models	决定系数 R^2	残余标准差 RSD	*P* 值 *P*-value
1	NE=0.402+0.569AME	0.892	0.20	<0.01
2	NE=9.428-0.182ADF	0.839	0.24	<0.01
3	NE=-0.563+0.154CP	0.709	0.33	<0.01
4	NE=5.209-0.127ADF +0.074CP	0.927	0.16	<0.01
5	NE=-0.29+0.458AME+0.042CP	0.910	0.18	<0.01
6	NE=3.92+0.362AME-0.079ADF	0.934	0.15	<0.01
7	NE=3.276+0.241AME+0.044CP-0.081ADF	0.954	0.13	<0.01

3 讨 论

3.1 不同产地棉籽粕的比较

本试验所用棉籽粕的 CP 含量为 37.16%~50.16%。国家标准《饲料用棉籽粕》（GB/T 21264-2007）将棉籽粕分为 5 个等级，CP 含量范围为 38%~50%，以 CP 为主要评判标准，本试验棉籽粕包括了该标准各等级的棉籽粕，其他营养成分也均基本符合该标准。本试验测得的棉籽粕常规成分结果和 Li 等[7]的测定结果基本一致，其中除了 DM 含量以外，其他的常规成分的变异系数均较大，EE 的变异最大，但其含量很少，其次是各纤维物质和 CP。

3.2 英系北京鸭的 FHP

本试验中英系北京鸭 FHP 的测定参照 Lofgreen 等[6]提出的对数回归模型进行求解，此

法被广泛用于反刍动物、猪、家禽 FHP 的测定[8-10]，因此对数回归模型用于测定肉鸭的 FHP 是可行的。本试验测得英系北京鸭 FHP 为 580 kJ/(kg $W^{0.75}$ • d)。已有研究测得天府肉鸭的 FHP 分别为 598.2[11]、577.3 KJ/(kg $W^{0.75}$ • d)[12]。Zhang 等[13]测得生长猪和育肥猪的 FHP 分别 758、732 kJ/(kg $BW^{0.6}$ • d)。Zancanela 等[14]测得鹌鹑的 FHP 为 310 kJ/(kg $BW^{0.6}$ • d)。上述研究表明各种动物的 FHP 表现出较大差异，同时同种动物不同生长阶段的 FHP 也存在差异。De Lange 等[15]用回归法外推生长猪食入代谢能为 0 时 FHP 低于饥饿法测定结果。同样，Liu 等[9]对比生长猪饥饿法和回归法测定 FHP，所得结果与 De Lange 等[15]的结果一致。禁食时间长短影响 FHP 的测定，回归法测定结果低于饥饿法测定结果可能是禁食时间太短，前期采食导致测得 FHP 偏大。而高亚俐等[16]在肉仔鸡上的结果则与 De Lange 等[15]、Liu 等[9]所得结果相反，其用回归法测得 FHP 高于饥饿法，并认为饥饿状态下动物处于应激状态，机体基础代谢会自然降低以减少能量消耗。以上研究结果表明采用不同方法所测得 FHP 结果存在差异。此外，NEm 还受到温度的影响。Sakomura 等[17]在肉鸡上的研究表明，当环境温度依次上升到 15、22、30 ℃时，其相应的 NEm 为 497.5、457.3、387.0 kJ/(kg $BW^{0.75}$)，说明在一定范围内，温度升高会使机体用于维持的能量下降。由此可知，FHP 受物种、生长阶段、测定方法、环境温度等许多因素的影响。对比英系北京鸭与天府肉鸭[11-12]的 FHP，综合考虑以上因素，其间差异可以理解为品种不同导致。

3.3　棉籽粕的 AME、NE 及 AME 转化为 NE 的效率

由于肉鸭长期借鉴肉鸡的饲料原料营养价值，关于肉鸭棉粕籽能值的研究报道很少。郑卫宽[18]采用生物法评定鸭 19 个棉籽粕的 ME 范围为 8.06~11.75 MJ/kg，平均值为(9.83±0.65) MJ/kg。本试验得到英系北京鸭 32 个棉籽粕的 AME 范围为 8.00~12.22 MJ/kg，平均值为(10.05±1.02) MJ/kg，相比前者研究结果偏高。其间差异可能是测定方法不同造成的，前者采用的强饲法可能对动物造成了应激。本试验中各棉籽粕 AME 的变异系数为 10.15%，这可能是由其常规成分的变化较大导致的。

最早关于棉籽粕 NE 的研究是 Frap[19]在肉鸡上的报道，该学者评定 CP 含量为 41%~48% 的棉籽粕的 NE 范围为 6.24~7.54 MJ/kg。此外，陈玉娟等[2]测得黄羽肉鸡 25 个棉籽粕的 NE 范围为 5.00~7.48 MJ/kg；李再山等[3]测得艾维茵肉鸡 15 种棉籽粕的 NE 范围为 4.73~7.08 MJ/kg；宁冬等[20]利用间接测热法和回归法测得蛋鸡棉籽粕的 NE 为 6.35 MJ/kg。本试验结果显示，棉籽粕在英系北京鸭上的 NE 范围为 5.04~7.30 MJ/kg，棉籽粕 NE 的变异系数为 10.13%，与 AME 相当。研究表明鸡和鸭对饲料能量的利用存在显著差异，但对棉籽粕和玉米的利用差异不显著[21]，这可能是本试验结果与前人在肉鸡上研究结果差异不大的原因。

此外，棉酚是棉籽粕中重要的抗营养因子。Zeng 等[22]研究显示，当饲粮的游离棉酚含量低于 103 mg/kg 时，此时棉籽粕占整个饲粮的 24.7%对肉鸭生长性能没有产生显著影响。本试验中棉籽粕的替代比例为 15%，认为棉酚并未影响到肉鸭生长而导致棉籽粕 NE 评定过程中误差的引入。由此可见，本研究得到的英系北京鸭棉籽粕的 NE 属于合理范围。另外，Zinn 等[23]评定了奶牛的棉籽粕 NE，结果显示棉籽粕为机体提供维持和沉积的能量分别为 7.86、5.19 MJ/kg。分析发现该研究中棉籽粕的营养成分中粗脂肪含量为 4.4%，明显高于本试验中棉籽粕的粗脂肪含量，并且奶牛能够更好地利用棉籽粕中纤维[24]，因此奶牛棉籽粕的 NE 远高于英系北京鸭。

本研究结果表明肉鸭棉籽粕 AME 转化为 NE 的效率为 58.11%~64.62%，且不同棉籽粕的 AME 有效利用率存在差异。Macleod[25]报道棉籽粕 AME 转化为 NE 的效率为 63%，与本试验结果相当。李杰等[11]报道天府肉鸭豆粕 AME 转化为 NE 的效率为(65.93±1.85)%。棉籽粕和豆粕同属蛋白质原料，它们在利用过程中能量的有效利用率相近。玉米作为典型的能量饲料，肉鸭玉米 AME 转化为 NE 的效率为（70.12±2.00）%[26]，黄羽肉鸡玉米 AME 转化为 NE 的效率为 78.1%[27]。从以上研究可知，能量饲料 AME 转化为 NE 的效率高于蛋白质饲料。Swick 等[28]在肉鸡上研究也证明了 AME 转化为 NE 的效率随着饲粮中 EE 含量的增加而增大，随着饲粮中纤维物质和 CP 含量的增加而减小。以上结果均说明饲料的 CP 含量高会降低 AME 的有效利用率。本试验中各棉籽粕的 CP 含量差异大，高蛋白质含量的棉籽粕由于热增耗高，因此转化效率更低，但都属于合理范围。

3.4 应用 AME 和常规成分预测棉籽粕 NE

棉籽粕 AME 和常规成分与 NE 的相关分析结果表明各类纤维物质与 NE 呈极显著负相关，AME 和 CP 与 NE 呈极显著正相关，而 EE 和 Ash 与 NE 没有显著相关性。EE 的热增耗较 CP 低，理应与 NE 呈正相关，但是由于各棉籽粕的 EE 含量太少，其对 NE 的正面影响被其他因素覆盖。由于蛋白质热增耗大，因此 CP 常作为 NE 的负效应因子。但是蛋白质作为棉籽粕主要的能量物质，本试验中 CP 与 AME 的相关系数为 0.808，呈极显著正相关，此时尽管 CP 的热增耗更大，CP 对于 NE 来说依然表现出正效应。大量研究表明纤维物质含量越高，饲料有效能越低，所以纤维物质常作为有效能的预测因子。关于猪常规成分预测棉籽粕的消化能回归模型的研究表明，ADF 是棉籽粕消化能的最佳预测因子[29]。在肉鸡棉籽粕 NE 预测模型的研究中同样表明 ADF 是最佳常规成分预测因子[3]。本试验得到的结果一致认为 ADF 可作为英系北京鸭棉籽粕 NE 的最佳常规成分预测因子。本试验多元逐步回归得到最佳预测方程的 R^2 为 0.954，RSD 为 0.13 MJ/kg，说明利用 AME 和常规成分预测英系

北京鸭棉籽粕 NE 的准确性较高，误差较小。

4 结　论

① 本试验条件下，对于 1~21 日龄英系北京鸭而言，棉籽粕的 NE 为(6.24±0.26) MJ/kg，AME 转化为 NE 的效率为（60.97±2.04）%。

② 棉籽粕的 NE 与 AME 和常规成分具有相关性，利用 AME 和常规成分建立的最佳英系北京鸭棉籽粕的 NE 预测方程为 NE=0.241AME+0.044CP-0.081ADF+3.276 (R^2=0.954,RSD=0.13 MJ/kg,P<0.01)；运用 AME 结合常规成分可以准确预测英系北京鸭棉籽粕的 NE。

参考文献：

[1] NOBLET J,FORTUNE H,SHI X S,et al.Prediction of net energy value of feeds for growing pigs[J].Journal of Animal Science,1994,72(2):344–354.

[2] 陈玉娟,贾刚,吴秀群,等.1～21 日龄黄羽肉鸡棉籽粕傅里叶近红外及化学成分净能预测模型研究[J].动物营养学报,2011,23(9):1499–1504.

[3] 李再山,贾刚,吴秀群,等.1～21 日龄艾维茵肉鸡菜籽粕和棉籽粕净能预测模型研究[J].动物营养学报,2011,23(10):1769–1774.

[4] SAUVANT D,PEREZ J M,TRAN G.Tables of composition and nutritional value of feed materials:pigs,poultry,cattle,sheep,goats,rabbits,horses and fish[M].The Netherlands:Wageningen Academic Publishers,2004.

[5] NOBLET J,VAN MILGEN J.Energy value of pig feeds:effect of pig body weight and energy evaluation system[J].Journal of Animal Science,2004,82(Suppl.13):E229–E238.

[6] LOFGREEN G P,GARRETT W N.A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle[J].Journal of Animal Science,1968,27(3):793–806.

[7] LI J T,LI D F,ZANG J J,et al.Evaluation of energy digestibility and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical composition of different cottonseed meal sources fed to growing pigs[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2012,25(10):1430–1438.

[8] MEDEIROS A N,RESENDE K T,TEIXEIRA I A M A,et al.Energy Requirements for maintenance and growth of male Saanen goat kids[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(9):1293–1302.

[9] LIU D W,JAWORSKI N W,ZHANG G F,et al.Effect of experimental methodology on fasting heat production and the net energy content of corn and soybean meal fed to growing pigs[J].Archives of Animal Nutrition,2014,68(4):281–295.

[10] JORDÃO FILHO J,SILVA J H V D,SILVA C T,et al.Energy requirement for maintenance and gain for two genotypes of quails housed in different breeding rearing systems[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2011,40(11):2415–2422.

[11] 李杰,贾刚,赵华,等.应用化学成分建立天府肉鸭豆粕净能预测模型的研究[J].动物营养学报,2015,27(10):3110–3117.

[12] 于乐晓,贾刚,赵华,等.2～3 周龄天府肉鸭净能需要量的评定[J].动物营养学报,2015,27(11):3391–3401.

[13] ZHANG G F,LIU D W,WANG F L,et al.Estimation of the net energy requirements for maintenance in growing and finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2014,92(7):2987–2995.

[14] ZANCANELA V,MARCATO S M,FURLAN A C,et al.Models for predicting energy requirements in meat quail[J].Livestock Science,2015,171:12–19.

[15] DE LANGE K,VAN MILGEN J,NOBLET J,et al.Previous feeding level influences plateau heat production following a 24 h fast in growing pigs[J].British Journal of Nutrition,2006,95(6):1082–1087.

[16] 高亚俐,王康宁.1～21 日龄艾维茵肉鸡净能需要量研究[J].动物营养学报,2011,23(1):147–153.

[17] SAKOMURA N K,SILVA R,COUTO H P,et al.Modeling metabolizable energy utilization in broiler breeder pullets[J].Poultry Science,2003,82(3):419–427.

[18] 郑卫宽.用仿生消化仪测定棉粕鸭真代谢能值的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2009.

[19] FRAPS G S.Composition and productive energy of poultry feeds and rations[J].Agricultural and Mechanical College of Texas,1946,678:6–37.

[20] 宁冬,呙于明,王永伟,等.间接测热法和回归法估测棉籽粕和玉米蛋白粉在蛋鸡中的代谢能和净能值[J].动物营养学报,2013,25(5):968–977.

[21] 樊红平.鸡鸭对饲料养分消化作用的比较研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2003.

[22] ZENG Q F,YANG G L,LIU G N,et al.Effects of dietary gossypol concentration on growth performance,blood profiles,and hepatic histopathology in meat ducks[J].Poultry Science,2014,93(8):2000–2009.

[23] ZINN R A,MONTAÑO M,ALVAREZ E,et al.Feeding value of cottonseed meal for feedlot cattle[J].Journal of Animal Science,1997,75(9):2317–2322.

[24] MERTENS D R.Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1997,80(7):1463–1481.

[25] MACLEOD M G.Modelling the utilization of dietary energy and amino acids by poultry[M]//THEODOROU M K, FRANCE J.Feeding Systems and Feed Evaluation Models.Wallingford:CAB International,1999:393–412.

[26] 米成林,贾刚,陈小玲,等.评定天府肉鸭玉米净能的研究[J].动物营养学报,2015,27(9):2705–2713.

[27] 申攀.建立 0-3 周龄黄羽肉鸡玉米净能近红外预测模型以及用常规化学成分建立净能的回归预测模型[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.

[28] SWICK R A,WU S B,ZUO J J,et al.Implications and development of a net energy system for broilers[J].Animal Production Science,2013,53(11):1231–1237.

[29] 曾福海,赵峰,张宏福,等.棉籽蛋白质饲料猪消化能估测模型的研究[J].动物营养学报,2007,19(6):731–736.

Study on Evaluating the Net Energy of Cottonseed Meal for Cherry Valley Ducks

MENG Hongmei[1] JIA Gang[1*] WEN Min[1,2] ZHAO Hua[1] CHEN Xiaoling[1] LIU Guangmang[1] WANG Kangning[1]

(1. *Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Ya'an* 625014, *China*; 2. *Tibet Vocational Technical College, Lhasa* 850000) [2]

Abstract: The objective of this study was to evaluate the net energy (NE) of cottonseed meal in Cherry Valley ducks, and to establish the prediction models for NE of cottonseed meal using apparent metabolizable energy (AME) and conventional composition. The factorial method was employed to evaluate the NE of cottonseed meal, and the NE of cottonseed meal was divided into

*Corresponding author, professor, E-mail: jiagang700510@163.com （责任编辑　菅景颖）

NE maintenance (NEm) and NE production (NEp) which measured through regression method and comparative slaughting method, respectively. The NE of cottonseed meal was calculated by its substitution in the diet. In animal experiment, a total of 400 Cherry Valley ducks were selected. Firstly, twenty ducks were selected and killed by cervical dislocation to determine both NEm and NEp according to the initial body energy of ducks at the beginning of the experiment. Secondly, fifty ducks were selected and used to measure NEm which were divided into five groups including *ad libitum* and 15%, 25%, 35% and 45% feed restriction groups (each group had 5 replicates and each replicate had 2 ducks), and all ducks were fed basal diet 1. The NEm was estimated by fast heat production (FHP). Thirdly, the other 330 ducks for NEp measure were divided into 33 groups (each group had 5 replicates and each replicate had 2 ducks), and fed basal diet 2 and experimental diets which used different cottonseed meals to replace 15% basal diet 2, respectively. All ducks were killed at 14 days of old by cervical dislocation to determine body energy. Finally, the AME and conventional composition of cottonseed meal were used to conduct related analysis and multiple linear stepwise regression analysis with the measured NE of cottonseed meal, and to establish the prediction models of NE for cottonseed meal. The results of this study showed as follows: the FHP of Cherry valley ducks was 580.7 kJ/(kg $W^{0.75}$ • d). The NEm and NEp of diet substituted with cottonseed meal were（2.97±0.15）MJ/kg and（5.22±0.12）MJ/kg, respectively. The NE of diet substituted with cottonseed meal was （8.19±0.09） MJ/kg. The cottonseed meal was calculated to be (6.12±0.6) MJ/kg of NE and (10.05±1.02) MJ/kg of AME. The efficiency of AME translate to NE for cottonseed meal was （60.97±2.04）%. The best prediction model established by AME and conventional composition was NE=3.276+0.241AME+0.044CP-0.081ADF (R^2=0.954， RSD=0.13 MJ/kg， P<0.01), in the formula, CP was crude protein and ADF was acid detergent fiber. It is concluded that the NE of cottonseed meal for Cherry valley ducks is (6.12±0.62) MJ/kg ranged from 5.04 to 7.30 MJ/kg, and the variation is higher. The NE of cottonseed meal for Cherry valley ducks can be accurately predicted by AME combine with conventional composition.

Key words: cottonseed meal; net energy; ducks; conventional composition; prediction